Aus der Chirurgischen Klinik der Universität Halle
Direktor: Prof. Dr. Voelcker

Studien zur Entwicklung des menschlichen Ganges

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Medizinischen Fakultät
der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Herta von Borcke
geb. Schwartzkopff, Med. Prakt.
aus Halle (Saale)

1938

Druck der Hoffmannschen Buchdruckerei Felix Krais Stuttgart

Referent: Dozent Dr. Klages
Korreferent: Professor Dr. Voelcker

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Einwilligung der Med. Fakultät Halle (Saale)

Zugleich veröffentlicht in der Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete
Band 68, Heft 4, Seite 429. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1938

Eingegangen 18. 3. 38.

Aus der Chir. Universitäts-Klinik Halle/S.
(Direktor: Prof. Dr. Voelcker)

Studien zur Entwicklung des menschlichen Ganges

Von **Herta von Borcke**, geb. Schwartzkopff, cand. med., Halle (Saale)

Um Studien über die Entwicklung des menschlichen Ganges machen zu können, muß man sich über die anatomischen Gegebenheiten am Beinskelett unterrichten. Man muß die Stellung der einzelnen knöchernen Teile zueinander ermitteln, um daraus Rückschlüsse auf die Gelenkmechanik ziehen zu können.

Im Jahre 1863 befaßte sich C. Hueter in seinen „Anatomischen Studien an den Extremitätengelenken Neugeborener und Erwachsener", wie der Titel seiner Arbeit sagt, mit diesen Fragen. 1878 veröffentlichte Johann Mikulicz die Ergebnisse seiner Studien: „Über individuelle Formdifferenzen am Femur und an der Tibia des Menschen mit Berücksichtigung der Statik des Kniegelenkes." Er befaßt sich besonders mit der Messung des Torsionswinkels am Femur und an der Tibia, des Streckwinkels (Winkels, welcher von den mechanischen Ach-

sen des Femur und der Tibia in der Sagittalebene gebildet wird), und des Seitenwinkels. (Dieser wird von den mechanischen Achsen des Femur und der Tibia in der Frontalebene gebildet). Ebenfalls 1878 gab Chr. Aeby seine „Beiträge zur Osteologie des Gorilla" heraus, in denen er sich eingehend mit der Vergleichung der Winkel zwischen der Längsachse des Kalkaneus und der des Talus und der Winkel zwischen Längs- und Drehachse des Talus vergleichend anatomisch befaßt. Le Damany veröffentlichte 1909 in „La torsion du tibia normale, pathologique, expérimentale" seine Messungen des Torsionswinkels der Tibia bei Anthropoiden, menschlichen Föten und Kindern. Über den „Verdrehungswinkel an den unteren Gliedmaßknochen, insbesondere am Wadenbein" berichtet Kuniyuki Katayama 1926. M. Böhm geht in seiner 1928 erschienenen Arbeit „Das Bein des Neugeborenen" hauptsächlich auf die normale Form und Stellung des Neugeborenenbeins ein. 1927 erscheint von M. Westenhöfer über „Die Klettermethoden der Naturvölker und über die Stellung der großen Zehe" eine Arbeit, die 1929 von J. Versluys in seiner Untersuchung „Über die Entstehung des aufrechten Ganges und des Fußbaues beim Menschen" in fast allen Punkten widerlegt wird. Arbeiten, die für diese Fragen besonders interessieren, sind H. Spitzy „Vorstudie zum Entwicklungsablauf des menschlichen Ganges" (1932), Aberle-Horstenegg „Die Torsion des distalen Tibiaendes" (1934) und G. Brandt „Die Torsion der unteren Extremität und ihre Bedeutung für die Deformitätenentstehung".

Der Zweck meiner Arbeit soll sein, alle diese Fragen weniger theoretisch zu behandeln, als vielmehr aus den anatomischen Gegebenheiten Rückschlüsse auf die Entwicklung des menschlichen Ganges zu ziehen. In dieser Arbeit beabsichtige ich zuerst meine eigenen Torsionsmessungen an der Tibia mit eigens zu diesem Zweck von mir konstruierten Meßinstrumenten mit den Messungen anderer zu vergleichen. Dann will ich auf den Achsenwinkel zwischen Femur- und Tibiaachse — ebenfalls meine Ergebnisse mit denen anderer in Beziehung setzend — eingehen. Daraufhin werde ich die Frage behandeln, in welcher Stellung der Vorfuß zum Rückfuß steht. Weiterhin sollen die Winkel besprochen werden, die zwischen Talus, Kalkaneus und Tibiaachse gebildet werden. Aus meinen Untersuchungen über den Winkel zwischen sagittaler und Fußlängsachse werde ich bestimmte Schlußfolgerungen zu beweisen suchen. In allen Abschnitten meiner Arbeit werde ich mich bemühen, die aufgeworfenen Fragen auch vergleichend anatomisch zu behandeln. Zu diesem Zwecke habe ich im hallischen Zoologischen Garten selbst Gangspuren von Schimpansen gemacht. Andererseits werde ich die Ergebnisse anderer Autoren heranziehen.

Um Torsionsmessungen an den unteren Extremitäten von Säuglingen und Kleinkindern vornehmen zu können, mußte ich mir ein Torsiometer konstruieren, das einfach zu handhaben war, ohne dabei der Genauigkeit der Messungen Abbruch zu tun.

In der Literatur fand ich einige Angaben über verschiedene Torsiometer. So

ist in der erwähnten Arbeit bei Le Damany das schon vorher von Broca verwendete Meßinstrument angegeben worden. Dieser Apparat eignet sich aber nur zur Messung an isolierten Tibien, hatte also für mich keinen Wert[1]). Ein anderes Instrument: „ein Meßapparat zur Feststellung der Querachsen des Beines" wird von G. Hohmann angegeben (1934)[2]). Im selben Jahre finden wir bei W. Aberle-Horstenegg ein weiteres Torsiometer abgebildet, das sich der Verfasser zu seinen Messungen konstruiert hat[3]). Bei R. Martin[4]) und J. Grunewald[5]) finden wir Angaben über weitere Torsiometer.

Alle erwähnten Torsiometer waren für mich nicht erreichbar, und so habe ich nach meinen Angaben ein neues Instrument herstellen lassen.

Der Apparat besteht aus einem hufeisenförmigen gebogenen Metallbügel, der an den Enden von zwei Schrauben durchbohrt ist. Diese sind an ihren zur Mitte schauenden Köpfen mit Gummipuffern versehen. An den nach außen gerichteten Enden sind die Schrauben ebenfalls durchbohrt. Durch diese Löcher gehen zwei Fäden, die unten mit je einem Gewicht beschwert sind und somit als Lot dienen. Man bringt nun den Metallbügel vermittels der Gummipuffer so am Knie und ein zweites genau so gebautes Torsiometer am distalen Tibiaende an, daß die Schrauben die Verlängerung der Gelenkachsen bilden. Die Achsen werden dann durch die Lote auf ein Blatt Papier projiziert, auf dem das Kind steht. Bei den Messungen ist darauf zu achten, daß die Querachse des proximalen Tibiaendes frontal steht. Daß dies der Fall ist, kann man rein äußerlich daran feststellen, daß die Patella — die man sich am besten vorsichtshalber markiert — nach vorn sieht.

Die Frage, ob man zu Torsionsmessungen an der Tibia die Gelenkachse des Kniegelenks gleich proximale Querachse der Tibia und die Gelenkachse des Talokruralgelenks gleich distale Querachse der Tibia setzen kann, wird von Aberle-Horstenegg[6]) in der oben genannten Arbeit, von G. Hohmann[7]) und von M. Böhm[8]) bejaht. Aberle-Horstenegg beruft sich hierbei[9]) auf Fick. Um die Messungen an Neugeborenen und Säuglingen durchführen zu können, mußte das Torsiometer so gebaut sein, daß das Lot auch bei in Rückenlage befindlichem Kind von den bezeichneten Gelenkachsen auf eine parallel zum Fuß und senkrecht zum Unterschenkel stehenden Ebene gefällt werden konnte.

Dies erreichte ich dadurch, daß ich zwei verstellbare Schienen an Stelle der oben beschriebenen Lote senkrecht zur Verlaufslinie der genannten Schrauben an-

[1]) Le Damany, a. a. O., S. 599—600. (Le tropomètre de Broca. Comment se fait la tropométrie du tibia quand on peut isoler cet os du reste du scelette.)

[2]) G. Hohmann: „Zwei nach Form zusammengesetzte Plattfußskelette nebst einigen Bemerkungen über die Torsion des unteren Tibiaendes", a. a. O., S. 36.

[3]) W. Aberle-Horstenegg, a. a. O., S. 37.

[4]) R. Martin, a. a. O., S. 996, Figur 468, Parallelograph; S. 1051.

[5]) J. Grunewald, a. a. O., S. 678, 679, 681, Abb. 6 und 7.

[6]) W. Aberle-Horstenegg, a. a. O., S. 36.

[7]) G. Hohmann: „Zwei nach Form zusammengesetzte Plattfußskelette nebst einigen Bemerkungen über die Torsion des unteren Tibiaendes." a. a. O., S. 29—30.

[8]) M. Böhm: „Das Bein des Neugeborenen", a. a. O., S. 551—552. Vgl. hierzu auch: J. Mikulicz, a. a. O., S. 375.

[9]) Aberle-Horstenegg, a. a. O., S. 61.

brachte. Mit Hilfe dieser Schienen konnte ich also die Gelenkachsen des Kniegelenks und des Talokruralgelenks auf die bezeichnete Ebene projizieren und so den Torsionswinkel beim liegenden Säugling messen.

Zur Messung des Achsenwinkels zwischen Femur- und Tibiaachse bei Säuglingen und Kleinkindern bedurfte es keines besonderen Instrumentes.

Ich legte die Kinder auf einen großen Bogen Papier, so daß die Patella horizontal stand und die Füße im rechten Winkel zur Unterlage standen. Nun machte ich eine Umrißzeichnung der Beine bis in die Höhe der Spina iliaca anterior superior und zeichnete später die Femur- und Tibiaachsen ein.

Mikulicz sagt, daß die mechanische Achse des Femur durch den obersten Scheitel des Femurkopfes (Drehpunkt des Kopfes) und durch die Mitte zwischen beiden Kondylen geht, daß die mechanische Achse des Unterschenkels mit der Tibia zusammenfällt. —

In die obere Zeichnung trug ich den Epikondylus medialis und lateralis des Femur ein, verband beide Punkte und halbierte diese Linie. Desgleichen markierte ich mir den Malleolus medialis und lateralis, verband sie und halbierte die Verbindungslinie. Beide somit gewonnenen Punkte verband ich und hatte so die Achse des Unterschenkels[10]).

Bei der Umrißzeichnung des Oberschenkels zeichnete ich die Spina iliaca anterior superior ein und zog eine Verbindungslinie zur Symphyse. Auch diese halbierte ich und hatte somit ungefähr die mechanische Achse des Femur.

Diese Methode kann zwar keinen Anspruch auf größere Genauigkeit machen, aber ich kam auf diese Weise auch zu fast den gleichen Ergebnissen wie Mikulicz und Aberle-Horstenegg, die allerdings keine genaueren Angaben machen, wie sie zu den mechanischen Achsen gelangt sind.

Um etwas über die Stellung vom Vorfuß zum Rückfuß aussagen zu können, konstruierte ich mir einen einfachen Apparat, der es ermöglicht, eine eventuelle Supination oder Pronation des Vorfußes zum Rückfuß in Graden abzulesen:

Der Fuß wird so aufgestellt, daß der Vorfuß auf ein um eine Achse drehbares Brett zu liegen kommt. Der laterale Fußrand muß sich im Falle der Prüfung einer eventuellen Vorfußsupination an eine unmittelbar über der Achse parallel zu dieser laufende Leiste anlegen. Soll geprüft werden, ob sich der Vorfuß in Pronationsstellung befindet, so muß sich der mediale Fußrand an diese Leiste anlegen. Der Rückfuß liegt bei der Messung auf einem zweiten gleich gebauten Brett, das sich ebenfalls um die gleiche Achse dreht. Der Apparat läßt sich sowohl für den rechten wie für den linken Fuß verwenden. Liegt z. B. der laterale Fußrand der Leiste an, so hebt man das Brett, auf dem der Vorfuß aufliegt, an, und bringt den Vorfuß in die Lage, die ihm am bequemsten ist. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Ferse im rechten Winkel zur Unterlage steht. An einem an dem Apparat angebrachten

[10]) Vgl. hierzu M. Böhm: „Das menschliche Bein", S. 4, Abb. 5. Ferd. Enke, Stuttgart.

Winkelmesser braucht dann nur noch der von den beiden Brettern gebildete Winkel abgelesen werden, der mit dem Pronations- bzw. Supinationswinkel identisch ist[11])[12]).

Bei den Untersuchungen über die Stellung der Tibiaachse zur Taluslängsachse und der Taluslängsachse zur Kalkaneuslängsachse benutzte ich Röntgenbilder von Kindern im Alter 1—12 Jahren und zeichnete mir die Knochenkonturen ab, um die Achsen der Knochen einzeichnen zu können.

Die Röntgenbilder sind von ventral nach dorsal gemacht.

Um mir ein Bild machen zu können, wie sich der Gang beim Menschen entwickelt, machte ich Gangspuren bei kleinen Kindern von 1—5 Jahren, desgleichen bei verschiedenen Menschenaffen im Zoologischen Garten zu Halle (Saale).

In jede einzelne Fußspur zeichnete ich dann die Fußachse ein, die beim Menschen ebenso wie bei Anthropoiden zwischen 1. und 2. Zehe hindurchgeht[13]). Diese Achsen wurden in Beziehung gesetzt zur Sagittalachse des Körpers, und jeweils der Winkel bestimmt, den die Fußachse mit der Sagittalen bildete. Auf diese Weise glaubte ich einen interessanten Entwicklungsablauf vom Affen zum Kleinkind und weiterhin zum Erwachsenen feststellen zu können[14])

Als Torsionswinkel der Tibia bezeichnet man im Sinne Gegenbaurs den Winkel, welchen die Drehachsen der an den Enden dieses Knochen befindlichen Gelenke miteinander bilden. Die Größe des Winkels ist abhängig von dem Gebrauche der unteren Extremitäten. Bei menschlichen Embryonen ist er vorwiegend negativ, d. h. die Fußspitzen zeigen nach innen. Eine gleiche Beobachtung ist bei Anthropoiden gemacht worden, welche sich auf der Erde mit gebeugten Knien bewegen, und bei denen die Fußspitzen besonders stark nach innen konvergieren[15]). Beim menschlichen Embryo und beim Menschenaffen ist also das untere Tibiaende proniert[16])[17]).

[11]) G. Hohmann in: „Fuß und Bein", S. 52, gibt eine Methode an, wie man sich durch Ankleben von Stäbchen, die die Achse des Vorfußes und die Achse des Rückfußes bezeichnen, die Stellung von Vor- zu Rückfuß deutlich machen kann.

[12]) G. Brandt, a. a. O., S. 511, Abb. 11.

[13]) J. Versluys, a. a. O., S. 280, 283.

[14]) G. Frostell, a. a. O., S. 18 ff.

[15]) Le Damany, a. a. O., S. 603: Angle tropométrique du tibia chez quelques espèces animales de grande taille.

Anthropoides

Gorille	D: — 5°;	G: — 5°
Chimpanzé	D: ± 0°;	G: — 5°
Orang-Outang	D: — 5°;	G: — 20°
„ „	D: — 5°;	G: — 5°

Moyenne — 6°

D = Droite G = Gauche

[16]) J. Grunewald, a. a. O., S. 775 ff.

[17]) R. Martin, a. a. O., S. 1165.

Zur Zeit der Geburt ist der Winkel beim Menschen gleich Null, d. h. die obere und die untere Tibiaachse stehen parallel übereinander. Durch den bald darauf folgenden Gebrauch der Muskeln sowie durch die gleichzeitig wirkende Wachstumsrichtung der Knochen wird ein ständiger Druck auf den Malleolus internus ausgeübt. Dieser wird dadurch allmählich nach vorn und lateralwärts gedreht, so daß sich eine Supination des unteren Schienbeinendes herausbildet, die einen positiven Torsionswinkel zur Folge hat.

Der Durchschnittswinkel der Tibiatorsion ist von mir bei 20 Kindern in verschiedenem Lebensalter untersucht worden. Die Ergebnisse meiner Messungen sind aus der folgenden Übersicht ersichtlich.

Es zeigt sich auch hier, daß der Torsionswinkel der Tibia bei Neugeborenen gleich Null ist[19]). Mit steigendem Lebensalter vergrößert sich der Winkel auf etwa 10—12° im 1. Jahre, obwohl in diesem Alter der Einfluß der Muskulatur auf die Tibia noch sehr gering ist[20]). Bis etwa zum Alter von 5 Jahren erreicht der Winkel in ständigem Ansteigen seine normale Größe von etwa 22—24°, die er auch beim erwachsenen Menschen beibehält. Die Tatsache, daß bereits im Alter von 5—6 Jahren der Torsionswinkel die höchste Ausdehnung erreicht hat, die er auch beim Erwachsenen im allgemeinen nicht überschreitet, wird von Aberle-Horstenegg bestätigt[21]). Sie dürfte meines Erachtens daraus herzuleiten sein, daß in diesem Lebensalter die Entwicklung des Ganges als abgeschlossen betrachtet werden kann. Einflüsse der Muskulatur auf die Torsion der Tibia sind infolgedessen nicht mehr zu erwarten. Die Übersicht zeigt weiter, daß die Torsion der rechten Tibia durchweg 1—2° stärker ist als die der linken, eine Tatsache, die bereits Le Damany in seiner Arbeit betont[22]).

Auch Mikulicz[23]) hat in seiner bekannten Veröffentlichung „Über individuelle Formdifferenzen am Femur und an der Tibia des Menschen" Torsionsmessungen an isolierten Tibien vorgenommen. Aus den von ihm angegebenen Zahlen habe ich errechnet, daß der Torsionswinkel bei Knochen, die von Kindern unter 2 Jahren stammen, durchschnittlich 9,5°, bei solchen von Kindern zwischen 2 und 5 Jahren durchschnittlich 8,5° und bei solchen von Jugendlichen von 5—18 Jahren durchschnittlich 16,2° betrug. Die weiteren von Mikulicz vorgenommenen Messungen an 120 Tibien ergeben einen Durchschnittswinkel von 15,8°.

Der Wert dieser Berechnung für die vorliegende Untersuchung ist aber nur sehr gering, da Mikulicz seine Ermittlungen an isolierten Tibien nicht durch irgendwelche genauen Altersangaben ergänzt hat.

[19]) Vgl. Le Damany, a. a. O., S. 605.
[20]) Mikulicz, a. a. O., S. 380.
[21]) Aberle-Horstenegg, a. a. O., S. 64.
[22]) Le Damany, a. a. O., S. 605.
[23]) Mikulicz, a. a. O., S. 380.

Übersicht 1

Nr.	Alter	Geschlecht	Abstände in cm der			Torsionswinkel der Tibia in °		Außenwinkel der mech. Femur- und Tibiaachse in °		Winkel zwischen Vorfuß und Rückfuß in ° [18])		Durchschnittl. Winkel der Tors. d. Tibia	
			Knie	Waden	Knöchel	L	R	L	R	L	R	L	R
1	1 Tg.	männlich	4	3	0	0	0	202	200	— 9	—10		
2	3 Tge.	weiblich	3	2	0	2	5	198	201	—10	—10	1,2	2
3	4 „	männlich	4	2	0	0	2	223	217	— 8	— 9		
4	5 „	„	4	2,5	0	3	1	205	200	— 5	— 7		
5	5 Mon.	„	1,5	1,5	0	7	9	185	188	— 7	— 8		
6	6 „	weiblich	0	1	0	5	10	186	183	— 5	— 5	9,2	12,5
7	7 „	männlich	3,5	3	0	10	14	186	185	0	— 5		
8	8 „	„	1	1	0	14	17	193	188	— 1	+ 2		
9	1 J. 2 M.	„	1,5	2	0	10	12	184	182	— 2	0		
10	1 „ 5 „	„	0	0,5	0,8	5	10	178	176	+ 1	+ 3	10,8	11,8
11	1 „ 5 „	„	0	1	1,5	10	5	181	177	+ 2	+ 4		
12	1 „ 6 „	weiblich	2	2,5	0,5	17	15	180	179	+ 1	+ 3		
13	1 „ 9 „	männlich	0	1	0	12	17	185	187	+ 3	+ 5		
14	2 „	weiblich	1	2	0	14	13	182	182	+ 5	+ 2	12,5	14
15	2 „ 9 „	„	0	2	2,5	11	15	172	171	+ 6	+ 6		
16	3 „	„	1	2	0	25	30	184	186	+ 5	+ 8	25	30
17	4 „	„	0	0,5	0	23	29	180	178	+ 4	+ 6		
18	4 „ 2 „	„	0	1	1,5	18	14	174	171	+ 7	+ 9	22,3	23,6
19	4 „ 5 „	„	0	0,5	0,5	26	28	178	180	+ 6	+ 7		
20	5 Jahre	männlich	0	0,5	0,5	22	24	179	177	+ 5	+ 7	22	24

[18]) Bei Supination ist der Winkel mit — , bei Pronation mit + bezeichnet

Die bei der Tibia festgestellte Torsion wird in gewissem Umfange von der mit ihr durch Bänder fest verbundenen Fibula mitgemacht werden müssen[24])

Die von Kuniyuki Katayama[25]) vertretene gegenteilige Ansicht hat wenig Wahrscheinlichkeit für sich, da die enge Verbindung der beiden Knochen eine isolierte oder gar abweichende Entwicklung nicht zulassen dürfte.

Eine Nachprüfung dieser Frage war mir nicht möglich, da eine Messung der Torsion der Fibula am Lebenden nicht durchführbar ist.

Ähnliche Zusammenhänge zwischen Ausbildung des aufrechten Ganges und Veränderungen am Skelett der unteren Extremitäten zeigen sich auch, wenn man die Entwicklung des von der mechanischen Achse des Femur und der Tibia gebildeten Winkels oder, wie Mikulicz ihn nennt, des „Seitenwinkels", in den verschiedenen Altersstufen nachprüft[26]).

Die oben aufgeführte Tabelle zeigt hier, daß die beim Neugeborenen um oder auch über 200° liegenden Winkel sich im Laufe der Entwicklung immer mehr einer Stellung von 180° nähern. Die in dem Seitenwinkel zum Ausdruck kommende Kontraktur des Knies, mit dem das Neugeborene zur Welt kommt, verringert sich, d. h. das Bein streckt sich allmählich[27]). Beim Neugeborenen ist das Kniegelenk auswärts und lateralwärts gedreht, der Oberschenkel ist leicht abduziert, während der Unterschenkel sich distalwärts der Körpermittelebene zuwendet. Der hierbei von Ober- und Unterschenkel gebildete medianwärts konkave Bogen streckt sich in den späteren Lebensjahren, so daß sich die Knie, welche zunächst etwa den Scheitelpunkt des Bogens darstellten, einander nähern. Durch die in der obigen Übersicht angegebenen Messungen der Abstände zwischen Knieen, Waden und Knöcheln wird diese Entwicklung für die ersten 5 Lebensjahre zahlenmäßig belegt. Beim Erwachsenen behält das Knie den Seitenwinkel, welchen es in voller Strecklage einnimmt, bei, und auch bei statischen Mißverhältnissen tritt keine Änderung mehr ein[28]).

Es ist von Brandt darauf hingewiesen worden[29]), daß beim Erwachsenen der Vorfuß gegen den Rückfuß einwärtsgedreht ist. (Pronation des Vorfußes, Supination des Rückfußes.) Brandt hat weiter festgestellt, daß demgegenüber beim Neugeborenen zunächst noch eine relative Vorfußsupination[30]) besteht, wie sie auch der Kletterfuß der Affen aufweist. Diese zunächst vorhandene Supination des Vorfußes wird später dadurch ausgeglichen, daß der Großzehenstrahl sich senkt und dadurch eine mehr plantare Stellung einnimt.

[24]) J. Grunewald, a. a. O., S. 708 ff.
[25]) K. Katayama, a. a. O., S. 675.
[26]) Mikulicz, a. a. O., S. 386.
[27]) Böhm, „Das menschliche Bein", S. 6.
[28]) Mikulicz, a. a. O., S. 386.
[29]) G. Brandt, a. a. O., S. 501 ff.
[30]) G. Brandt, a. a. O., S. 514; vgl. auch M. Böhm, a. a. O., S. 9.

Die von mir mit Hilfe des eingangs erwähnten Apparates angestellten Messungen haben zu dem gleichen Ergebnis geführt. Die in der Tabelle aufgeführten Zahlen zeigen, daß bei den von mir untersuchten Kindern bis etwa zum 8. Monat eine ständig geringer werdende Supination des Vorfußes festzustellen war. Vom 1. Lebensjahre ab zeigte sich eine allmählich ansteigende Pronation, die mit etwa 5 Jahren den höchsten von mir gemessenen Winkel von etwa 7—9° erreicht hatte. Diese Pronationsstellung ist, wie durch Messungen an Erwachsenen von mir nachgeprüft wurde, als normal auch für die späteren Lebensjahre zu bezeichnen. Die von mir untersuchten Fälle zeigten den Ablauf der normalen Entwicklung des Vorfußes von der Supination zur Pronation.

Brandt hat darauf hingewiesen, daß sich Knickplattfüße und andere Deformitäten ergeben können, falls diese Entwicklung nicht in den normalen Bahnen verläuft[31]). Durch die Pronation des Vorfußes wird der Ballen des ersten Fußstrahles zum vorderen medialen Stützpunkt des Fußes, und somit wird der durch die Supination des Vorfußes noch angedeutete Kletterfuß zum Standfuß.

Für die Entwicklung des menschlichen Ganges ist weiter die Stellung des Talus von Bedeutung. Die von mir angestellten Untersuchungen beschränken sich auf die Stellung des Taluskörpers zur Längsachse der Tibia bzw. des Kalkaneus. Die Umbildung des Talus selbst, d. h. die Veränderung der Proportionen von Taluskopf, Talushals und Taluskörper ist von mir nicht untersucht worden.

Ich verweise hierzu auf die Ausführungen Böhms, die sich insbesondere auch mit der Form und Lage des Talus im embryonalen Leben befassen[32]).

Die von mir aus den erwähnten Röntgenbildern ermittelten Zahlen über die Größe des von der Längsachse der Tibia mit der des Talus sowie des von der Längsachse des Kalkaneus und der des Talus gebildeten Winkels sind auf der nächsten Übersicht, Seite 438, ersichtlich.

Die Aufstellung zeigt, daß beim Kleinkind der von der Längsachse des Talus mit der der Tibia gebildete Winkel zunächst erheblich kleiner ist als 180°. Später wird dieser Winkel immer größer und erreicht beim 5—6jährigen Kinde die Normalgröße von etwa 180°. Der Taluskörper macht demnach eine Aufwärtswanderung durch. Die obere Gelenkfläche stellt sich horizontal ein.

Bei den Untersuchungen über den Tibia-Talus-Winkel gelang es mir, Röntgenaufnahmen von den Füßen eines 9jährigen Schimpansen (Simia troglodytes) herzustellen.

[31]) G. Brandt, a. a. O., S. 515.
[32]) M. Böhm, „Das menschliche Bein", a. a. O., S. 80.

Übersicht 2

Alter in Jahren	Winkel zwischen Längsachse der Tibia und des Talus		Winkel zwischen Längsachse des Kalkaneus und des Talus	
	links	rechts	links	rechts
1	155	145	78	76
1	150	154	75	70
1½	162	166	58	56
2	153	153	45	50
2	156	157	44	50
2½	158	163	43	42
3	159	160	42	43
3	163	170	40	38
4	172	171	35	34
4	181	177	30	30
4¾	182	180	35	38
5	175	170	29	36
6	180	180	30	30
9	178	180	24	20
10	177	175	20	22
10	180	180	—	—
11	180	180	—	—
12	180	180	—	—
		Schimpanse		
9	153	156	—	—

Nach Forschungen von Weinert[33]) ist der Schimpanse von allen Anthropoiden den Menschen am ähnlichsten und nächsten verwandt.

Meine Messungen ergaben, daß der Tibia-Talus-Winkel beim linken Fuß des Affen 153°, beim rechten 156° betrug. Der Winkel bewegt sich also etwa in der Größe, wie sie von mir bei Füßen von 1jährigen Kindern festgestellt worden ist.

Anders als beim Tibia-Talus-Winkel verläuft die ebenfalls aus Übersicht 2 ersichtliche Entwicklung des durch die Längsachsen des Talus und des Kalkaneus gebildeten Winkels. Dieser Winkel, der im 1. Lebensjahr etwa 80° beträgt, wird ständig kleiner und erreicht etwa im 10. Lebensjahre die geringste Durchschnittsgröße von ca. 20°. Der Kalkaneus wandert also medialwärts und unter den Talus. Durch diese Entwicklung wird das im Laufe der Jahre bei steigendem Körpergewicht immer mehr beanspruchte Fußgewölbe gestützt, und dadurch die Gefahr einer Valgität oder Varität des Fußes verringert.

Aeby[34]) hat darauf hingewiesen, daß eine gleichartige Entwicklung, wie

[33]) Weinert, a. a. O., S. 360: „Es gibt noch heute eine Tierart, die mit keinem anderen Tier, wohl aber mit uns Menschen durch den gemeinsamen Besitz vieler Merkmale verbunden ist. Das ist der Schimpanse Afrikas.

[34]) Aeby, a. a. O., S. 303 ff.

sie hier vom Kleinkind bis zum 12jährigen Kinde nachgewiesen ist, auch schon vom Fötus bis zum Neugeborenen stattfindet.

Die postfötale Entwicklung wird also bereits durch eine gleichgerichtete intrauterine Entwicklung vorbereitet. Je größer der von den Längsachsen des Kalkaneus und des Talus gebildete Winkel ist, um so größer ist naturgemäß die Beweglichkeit des Fußes, die aus diesem Grunde beim Erwachsenen geringer ist als beim Kleinkind.

Während sich die vorstehenden Untersuchungen auf die Veränderungen einiger Teile des Beinskeletts während der Entwicklung des Ganges erstrecken, soll im folgenden gezeigt werden, wie sich die aufgezeigten Veränderungen auf die Gangart selbst auswirken.

Mit Hilfe der oben gekennzeichneten Meßmethode habe ich bei den beim Gehen von Fußachse und Sagittaler gebildeten Winkel bei Kindern von 11 Monaten bis zu 10 Jahren sowie bei 2 Schimpansen im Alter von 4 und 9 Jahren festgestellt.

Ähnliche Meßmethoden wie die von mir angewandten hat G. Frostell in seinem 1926 erschienenen „Beitrag zur Kenntnis der vorderen Stützpunkte des Fußes beim Stehen und Gehen" beschrieben. Die von Frostell angestellten Ermittlungen üben den Winkel der Fußachse zwischen Fußachse und Sagittaler (im Verlaufe dieser Ausführungen mit „Fußwinkel" bezeichnet) hatten aber nicht den Zweck, sich mit der Entwicklung des Ganges zu befassen, sonden wollten lediglich die einzelnen Stützpunkte während der verschiedenen Phasen des Gehens beim Erwachsenen feststellen.

Die Ergebnisse der von mir angestellten Untersuchungen sind in der Aufstellung S. 140—143 enthalten.

Mit dem Zeichen — sind die Winkel bezeichnet, die bei einwärts (konvergierenden) Fußspitzen von Fußachse mit Sagittaler gebildet werden, während die auswärts (divergierenden) Winkel mit dem Zeichen + bezeichnet sind.

Die Übersicht zeigt, daß beim Kleinkind die Fußspitzen während des Ganges stark nach einwärts gedreht sind. Während der folgenden Entwicklung des Ganges macht der Fuß eine allmähliche Drehung nach außen durch, die etwa um das 5. Lebensjahr den Fußwinkel positiv werden läßt. Der Winkel steigt dann weiter an bis auf etwa 10^0 im Durchschnitt. In dieser Stellung verharrt auch beim normalen Erwachsenen der durchschnittliche Fußwinkel während des Ganges.

Die von mir durchgeführten Messungen ergeben weiter ein ständiges leichtes Überwiegen der Größe des rechten Fußwinkels über die des linken.

Ähnliche Erfahrungen hat auch Frostell[35]) gemacht. Er glaubt, die Ursache dafür, daß der Mensch mit deutlich größerem Fußwinkel auf dem rechten

[35]) G. Frostell, a. a. O., S. 54.

Übersicht 3
Winkel zwischen Fußachse und Sagittaler

Nr.	Alter	Geschlecht	links	rechts	Durchschnitt links	Durchschnitt rechts
1	11 Monate	weiblich	— 8 — 9 —14 — 4	—10 — 6 —11 — 3	— 8,7	— 7,5
2	12 „	männlich	— 9 — 6 — 5 — 5 — 2 — 2	+ 1 — 2 0 — 3 — 1 — 7	— 4,6	— 2,2
3	13 „	„	— 2 + 3 — 1 —17	—15 — 4 — 2 + 6	— 4,2	— 3,7
4	14 „	„	— 2 + 6 — 3 —10 — 7	— 5 + 3 — 2 — 8 — 4	— 5,2	— 5,2
5	16 „	„	— 7 —11 —15 — 6	—10 —20 —10 — 3	— 9,7	— 10,7
6	17 „	weiblich	— 5 — 9 — 3 0	— 2 — 6 — 1 — 4	— 4,2	— 3,2
7	17 „	„	— 8 — 2 — 7 —10	— 6 — 2 — 9 — 3	— 6,7	— 5,0
8	18 „	männlich	—10 — 3 + 1 — 5 — 8	— 5 + 3 — 4 — 7	— 5,0	— 3,2
9	19 „	weiblich	+ 3 — 2 0 — 4 — 7 — 5	— 4 — 3 + 1 — 2 — 3 + 4	— 2,5	— 1,1
10	21 „	männlich	— 7 — 2 — 8 0 — 5 —10	—10 — 1 — 4 + 3 — 1 — 5	— 5,3	— 3,0

Nr.	Alter	Geschlecht	links	rechts	Durchschnitt links	Durchschnitt rechts
11	2 Jahre	weiblich	−20 − 7 − 1 + 3 − 4 − 5	−15 − 8 − 2 + 2 − 1	− 5,6	− 4,8
12	2½ „	„	− 3 0 + 2 − 2 − 4	− 2 − 6 − 1 + 5 − 3	− 1,4	− 1,4
13	2½ „	männlich	−10 − 5 − 1 − 2 + 3	− 2 − 8 − 2 − 6 + 3	− 3	− 3
14	2¾ „	„	−10 − 3 − 1 + 2 − 3 − 5 − 4	− 2 − 8 − 3 − 4 − 2 − 6	− 3,4	− 4,1
15	3 „	weiblich	+ 9 + 2 + 8 + 4 +10	+ 7 + 3 +11 +10 − 1	+ 6,6	+ 6,0
16	3½ „	männlich	− 4 + 3 − 5 − 2	− 9 − 4 + 2 − 1 + 3	− 2,0	− 1,8
17	3¾ „	„	+ 4 − 4 + 2 − 7	− 3 + 4 0 − 8 − 1	− 1,2	− 1,6
18	4 „	„	+ 1 − 3 + 2 + 5	+ 2 + 1 − 3 + 5 +10	+ 1,2	+ 3,0
19	5 „	„	+ 7 + 4 + 8 +12	+20 + 7 +12 + 9	+ 7,7	+12,0
20	5½ „	weiblich	+ 1 − 5 + 1 + 4 + 2 + 3	+ 4 0 + 1 + 8 +10	+ 1,0	+ 4,6

Nr.	Alter	Geschlecht	links	rechts	Durchschnitt links	Durchschnitt rechts
21	$5^1/_2$ Jahre	weiblich	+ 1 + 3 + 1 — 5 + 2 + 4	0 + 8 + 1 — 4 +10	+ 1,0	+ 4,7
22	$5^3/_4$ „	männlich	+ 2 + 6 + 9 + 7	+ 5 + 3 +11 +10	+ 6,0	+ 7,2
23	$6^1/_2$ „	weiblich	+ 3 — 2 0 + 4 — 1 + 5 + 8	+ 5 + 2 — 1 + 3 + 5 + 7	+ 2,4	+ 3,5
24	$7^3/_4$ „	„	+ 5 + 1 — 2 + 2 0 + 8 +14	+12 + 5 + 1 — 3 + 1 + 9 + 7	+ 4,0	+ 4,5
25	$8^1/_2$ „	männlich	+12 +15 +10 + 8 + 5 +11	+10 + 5 + 2 +13 +17 + 9	+10,3	+ 9,3
26	$9^1/_4$ „	„	0 + 8 +12 + 5 +12 + 6	+ 6 +10 +15 + 5 +13	+ 7,1	+ 9,8
27	10 „	weiblich	+ 7 + 2 + 6 +12 +20	+ 5 +10 + 8 +15 +13 +19	+ 9,4	+11,6

als auf dem linken Fuß geht und steht, und daß der rechte Fuß überhaupt mehr für außergewöhnliche Beanspruchungen herangezogen wird als der linke, aus einer größeren Entwicklung der kortikalen Zentren der linken Gehirnhälfte herleiten zu können.

Interessant waren die Feststellungen, die ich bei meinen Messungen an den Fußwinkeln der Schimpansen machen konnte. Bei den Messungen gingen die Tiere aufrecht, wie sie dies in der Gefangenschaft

Übersicht 4
Winkel zwischen Fußachse und Sagittaler beim Schimpansen

Nr.	Alter	Geschlecht	links	rechts	Durchschnitt links	Durchschnitt rechts
1	4 Jahre	männlich	−31	−17	− 35,2	− 27,0
			−27	− 25		
			−36	− 30		
			−47	− 36		
2	9 „	weiblich	−17	−10	− 17,9	−16,6
			−10	− 5		
			+ 3	+ 1		
			− 5	− 4		
			−21	− 10		
			−18	−12		
			− 31	−19		
			− 24	− 25		
			−15	−35		
			−29	−23		
			−10	−31		

ja fast immer mit Leichtigkeit erlernen[36]). Ein Unterstützung der hinteren Extremitäten durch die bei Schimpansen während des Bodenganges häufig als Krücken benutzten vorderen Extremitäten fand daher nicht statt, so daß die Messungen bei frei und aufrecht gehenden Tieren vorgenommen wurden.

Die Einwärtsdrehung der Fußspitzen ist beim Schimpansen noch erheblich größer als beim Kleinkind und beträgt bei dem 4jährigen männlichen Schimpansen links durchschnittlich — 35,2°, rechts durchschnittlich — 27°, während sie beim 9jährigen weiblichen Schimpansen links durchschnittlich 17,9° und rechts 16,6° beträgt. Ob aus diesen Zahlen ein Rückschluß darauf gezogen werden kann, daß beim Schimpansen ebenso wie beim Menschen die Einwärtsdrehung der Fußspitzen in höherem Alter geringer wird, erscheint bei der mangelnden Vergleichsmöglichkeit mit anderen Zahlen zweifelhaft.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß beim Schimpansen nicht wie beim Menschen der Fußwinkel rechts größer ist als links. Auffällig ist weiterhin die außerordentlich große Verschiedenheit der Winkel während der einzelnen Phasen des Ganges. Sie beweist, daß der aufrechte Gang beim Anthropoiden noch erheblich unregelmäßiger und unsicherer ist, als selbst der des Kleinkindes.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß während der Entwicklung des Ganges an Femur, Tibia, Kalkaneus und Talus folgende Änderungen in der Statik bzw. in der Stellung der einzelnen knöchernen Teile zueinander eintreten:

[36]) Naef, a. a. O., S. 155.

1. Der zur Zeit der Geburt 0° betragende Torsionswinkel steigt ständig an und erreicht im Laufe der Entwicklung eine höchste Durchschnittsgröße von 22—24°. Die Torsion der rechten Tibia ist hierbei etwa 1—2° stärker als die der linken.

2. Der von der mechanischen Achse des Femur und der Tibia gebildete „Seitenwinkel" beträgt beim Neugeborenen 200 und mehr Grad, d. h. bei der Geburt weisen die meisten Kinder eine starke Varietät der Beine auf. Diese Varietät wird aktiv durch die Muskelarbeit und passiv durch das Knochenwachstum in den folgenden Jahren ausgeglichen, so daß der Seitenwinkel sich 180° nähert, und das Bein dadurch eine größere statische Sicherheit erhält.

3. Aus der bei Säuglingen festzustellenden relativen Vorfußsupination entwickelt sich allmählich eine Pronation, die etwa einen Pronationswinkel von 8—9° erreicht.

4. Der Talus richtet sich im Laufe der Entwicklung das Ganges und des Fußes auf, während der Kalkaneus unter den Talus rückt, wobei der von den Längsachsen des Talus und des Kalkaneus gebildete Winkel von etwa 80° bis auf etwa 20° verkleinert wird.

Die gesamte unter Abschnitt 1—4 gekennzeichnete Entwicklung vollzieht sich etwa im Laufe der ersten 5 Lebensjahre, wonach sie als abgeschlossen betrachtet werden kann. Ihre Auswirkung auf die Art des Ganges findet sie darin, daß aus einer beim Kleinkind zunächst vorhandenen starken Einwärtsrotation des Fußes allmählich eine Auswärtsrotation wird, die sich in einem positiven Fußwinkel ausdrückt.

Schrifttum

Aberle-Horstenegg, Walter (Wien). Die Torsion des distalen Tibiaendes. Arch. orthop. u. Unfallchir. 1934, Bd. 34. Verlag Julius Springer, Berlin. — Aeby, Christian (Bern). Beiträge zur Osteologie des Gorilla. Morpholog. Jahrb. (Z. Anat. u. Entwicklungsgesch.) 1878, Bd. 4, Leipzig — Böhm, Max, Das menschliche Bein. Seine normale Entwicklung und die Entstehung der Wuchsfehler (Hüftluxation, X- und O-Beine, Knick- und Plattfüße, Klumpfuß). Stuttgart 1935. Verlag Ferd. Enke. Dtsch. Orthop., herausgegeb. von H. Gocht, Berlin, Bd. 9. — Ders., Das Bein des Neugeborenen. Klin. Wschr. 1928, VII, 1. — Brandt, Georg Halle). Die Torsion der unteren Extremität und ihre Bedeutung für die Deformitätenentstehung. Sonderabdr. a. Z. ortoph. Chir., Bd. XLIX, Verlag Ferd. Enke, Stuttgart. — Le Damany (Paris). La torsion du tibia normale, pathologique, experimentale. I anat. et phys. 45, Paris 1909. — Fischer, K. W., Gang und Fußbildung. Med. Klin., Jg. 20. — Frostell, Gunnar, Beitrag zur Kenntnis der vorderen Stützpunkte des Fußes sowie des Fußwinkels beim Gehen und Stehen. Z. orthop. Chir., Bd. 47. — Gorjanovic-Kramberger (Agram), Der diluviale Mensch von Krapina in Kroatien. Wiesbaden 1906. C. W. Kreidels Verlag. — Grunewald, J., Die Beziehung zwischen der Form und der Funktion der Tibia und Fibula des Menschen und einiger Menschenaffen. Z. orthop. Chir. 1916, Bd. 35. — Hackenbroch, M. (Köln). Der Hohlfuß, seine Entstehung und seine Behandlung. Berlin 1926. Verlag Julius Springer. — Hoffa, Albert, Orthop. Chir., 6. Aufl., Stuttgart 1921. Verlag Ferd. Enke. — Hoffmann, Adolph, Über die Fehlergröße bei der klinischen Bestimmung des Kniebasiswinkels. Dtsch. Z. Chir. 1909, 97. — Hoh-

mann, Georg (Frankfurt a. M.). Fuß und Bein, ihre Erkrankungen und deren Behandlung. München 1934. Verlag J. F. Bergmann. — Ders., Über zwei nach vorn zusammengesetzte Plattfußskelette nebst einigen Bemerkungen über die Torsion des unteren Tibiaendes. Z. orthop. Chir. 1925. — Ders., Über angeborene Supinationsstellung des Vorfußes. Z. orthop. Chir. 1935, Bd. 63, H. 3. — Hueter, C., Anatomische Studien an den Extremitätengelenken Neugeborener und Erwachsener. Arch. pathol. Anat. 1863, 26. — Katayama, Kuniyuki, Der Verdrehungswinkel an den unteren Gliedmaßenknochen, insbesondere am Wadenbein. Gegenbaurs Morph. Jahrb. 1926, Bd. 55. — Küstner, Über die Häufigkeit des angeborenen Plattfußes. Arch. Gynäk., Bd. 15. Berlin 1880. Verlag Aug. Hirschwald. — Martin, Rudolf, Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung. Jena 1928. Verlag G. Fischer. — Mikulicz, Johann, Über individuelle Formdifferenzen am Femur und an der Tibia des Menschen. Mit Berücksichtigung der Statik des Kniegelenks. Arch. Anat. u. Physiol., Leipzig 1878. — Mohnike, Otto, Affe und Urmensch, Münster 1888. — Naef, Adolf (Kairo), Die Vorstufen der Menschwerdung. Eine anschauliche Darstellung der menschlichen Stammesgeschichte und eine kritische Betrachtung ihrer allgemeinen Voraussetzungen. Jena 1933. Verlag G. Fischer. — Schinz, Hans Rudolf, Die Fußspur. Zentralorgan f. d. ges. Chir. u. ihre Grenzgebiete, Bd. 8, Berlin 1920. Verlag Julius Springer. — Spitzy, Hans (Wien). Vorstudie zum Entwicklungsablauf des menschlichen Ganges. Z. orthop. Chir. 1932, 56. — Versluys, J., Über die Entstehung des aufrechten Ganges und des Fußbaues beim Menschen. Anthrop. Gesellsch. Wien 1929, Bd. 59. — Weinert, H., Ursprung der Menschheit. Über den engeren Anschluß des Menschengeschlechts an die Menschenaffen. Ferd. Enke, Stuttgart 1932. — Westenhöfer, M., Über die Klettermethoden der Naturvölker und über die Stellung der großen Zehe. Arch. Frauenk. u. Konstit.-forschg. 1927, XIII.

(Anschrift des Verfassers: Pullach b. München 31)